

MÁSTER UNIVERSITARIO EN FORMACIÓN DEL PROFESORADO DE EDUCACIÓN SECUNDARIA

2011-2012

TRABAJO FIN DE MÁSTER

GUÍA DE EXPERIMENTOS FUNDAMENTALES PARA FÍSICA DE SEGUNDO DE BACHILLERATO



Gurutze Andueza

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVO	3
1. MARCO TEÓRICO	4
2. CONJUNTO DE EXPERIMENTOS	8
2.1. CARACTERÍSTICAS DE LAS EXPERIENCIAS	8
2.2. EXPERIENCIAS	8
2.2.1. EXPERIENCIA 1: teoría de la gravitación universal	8
2.2.2. EXPERIENCIA 2: campo gravitatorio	11
2.2.3. EXPERIENCIA 3: movimiento vibratorio armónico	16
2.2.4. EXPERIENCIA 4: movimiento ondulatorio	20
2.2.5. EXPERIENCIA 5: fenómenos ondulatorios	23
2.2.6. EXPERIENCIA 6: campo eléctrico	26
2.2.7. EXPERIENCIA 7: campo magnético	30
2.2.8. EXPERIENCIA 8: inducción electromagnética	34
2.2.9. EXPERIENCIA 9: naturaleza y propagación de la luz	37
2.2.10. EXPERIENCIA 10: óptica geométrica	41
3. CONCLUSIONES	44
4. LÍNEAS FUTURAS	44
5. BIBLIOGRAFÍA	45

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVO

Durante mi estancia en el Practicum II en el instituto Toki Ona de Bera pude darme cuenta de lo mucho que aportan las experiencias en clase. Los alumnos participan, prestan atención y entienden mejor la teoría.

Lamentablemente, en segundo de bachillerato el temario extenso que entra en la selectividad hace que la mayoría de los/as profesores/as ande mal de tiempo para terminarlo para junio y no puedan pasar mucho tiempo haciendo experimentos o acudiendo al laboratorio.

Para poder contribuir a acabar con este problema, he decidido crear una guía de experimentos fundamentales. Estas experiencias explicarán leyes fundamentales, durarán pocos minutos y se podrán realizar con material barato y sencillo.

Para hacer la guía he escogido los libros de segundo de bachillerato de la editorial Anaya¹, en castellano, y de la editorial Edebe², en euskera. De los temas que aparecen en este libro he escogido solo los que entran en la selectividad:

1. Teoría de la gravitación universal
2. Campo gravitatorio
3. Movimiento vibratorio armónico
4. Movimiento ondulatorio
5. Fenómenos ondulatorios
6. Campo eléctrico
7. Campo magnético
8. Inducción electromagnética
9. Naturaleza y propagación de la luz
10. Óptica geométrica

Para cada tema, se explica una experiencia, el material necesario para realizarlo, los fundamentos teóricos para poder entenderlo y los detalles prácticos que facilitan su realización. Todos ellos se han realizado con material casero o el material del laboratorio del instituto Toki Ona.

¹ J. CARRASCOSA, S. MARTÍNEZ, M. ALONSO (2006), *Física 2º Bachillerato*. Gráficas E. Corredor, Valencia

² EDEBE (OBRA COLECTIVA) (2010). *Fisika, batxilergoa*. Giltza, Sondika.

1. MARCO TEÓRICO

Que las experiencias en clase ayudan a los alumnos a entender y a aprender lo teórico es algo que se sabe hace años.

Edgar Dale (1900- 1985) ordenó los niveles de concreción y abstracción de los métodos de enseñanza y los materiales instructivos en el sentido de abstracción creciente. Dale opinaba que las ideas pueden ser más fácilmente entendidas y retenidas si se construyen a partir de la experiencia concreta. Casualmente, el mejor método de enseñanza es el que menos se utiliza en las aulas, y es la que me gustaría fomentar a través de mi trabajo.

Cono del aprendizaje de Edgar Dale



(<http://www.slideshare.net/aidaivars/cono-del-aprendizaje-de-edgar-dale>)

“En la década de los 70’s, las escuelas buscaban que los niños construyeran su conocimiento a través del descubrimiento de contenidos. David Paul Ausubel consideraba que el aprendizaje por descubrimiento no debe ser presentado como opuesto al aprendizaje por exposición (recepción), ya que éste puede ser igual de eficaz, si se cumplen unas características. Así, el aprendizaje escolar puede darse por recepción o por descubrimiento, como estrategia de enseñanza, y puede lograr un aprendizaje significativo o memorístico y repetitivo.

Para lograr el Aprendizaje Significativo; se necesita significatividad lógica del material: el material que presenta el maestro al estudiante debe estar organizado, para que se dé una construcción de conocimientos. Significatividad psicológica del material: que el alumno conecte el nuevo conocimiento con los previos y que los comprenda. También debe poseer una memoria de largo plazo, porque de lo contrario se le olvidará todo en poco tiempo. Y por último actitud favorable del alumno: ya que el

aprendizaje no puede darse si el alumno no quiere. Este es un componente de disposiciones emocionales y actitudinales, en donde el maestro sólo puede influir a través de la motivación.

Hay tres tipos de Aprendizaje Significativo:

- Aprendizaje de representaciones: es cuando el niño adquiere el vocabulario. Primero aprende palabras que representan objetos reales que tienen significado para él. Sin embargo no los identifica como categorías.
- Aprendizaje de conceptos: el niño, a partir de experiencias concretas, comprende que la palabra "mamá" puede usarse también por otras personas refiriéndose a sus madres. También se presenta cuando los niños en edad preescolar se someten a contextos de aprendizaje por recepción o por descubrimiento y comprenden conceptos abstractos como "gobierno", "país", "mamífero"
- Aprendizaje de proposiciones: cuando conoce el significado de los conceptos, puede formar frases que contengan dos o más conceptos en donde afirme o niegue algo. Así, un concepto nuevo es asimilado al integrarlo en su estructura cognitiva con los conocimientos previos. Esta asimilación se da en los siguientes pasos: Por diferenciación progresiva: cuando el concepto nuevo se subordina a conceptos más inclusores que el alumno ya conocía. Por reconciliación integradora: cuando el concepto nuevo es de mayor grado de inclusión que los conceptos que el alumno ya conocía. Por combinación: cuando el concepto nuevo tiene la misma jerarquía que los conocidos.

Ausubel concibe los conocimientos previos del alumno en términos de esquemas de conocimiento, los cuales consisten en la representación que posee una persona en un momento determinado de su historia sobre una parcela de la realidad. Estos esquemas incluyen varios tipos de conocimiento sobre la realidad, como son: los hechos, sucesos, experiencias, anécdotas personales, actitudes, normas, etc"³.

Hoy en día también se publican artículos y libros sobre la ciencia experimental en un contexto didáctico. Rafael García-Molina publicó un artículo sobre ciencia recreativa en el año 2011 ⁴. Dice que "las actividades que más espectadores atraen en las ferias de la ciencia son aquellas en las que se realizan experimentos sorprendentes y con materiales fáciles de obtener, lo cual facilita su reproducción por el público interesado".

"Dadas sus características, las actividades de ciencia recreativa son, en esencia, manipulativas, lo cual favorece el aprendizaje científico-tecnológico. Además, la introducción de la ciencia recreativa en la práctica pedagógica cotidiana estimula el deseo de los alumnos por conocer, ya que les hace partícipes del mundo científico. Se ha comprobado que la organización de exposiciones científicas, realizadas conjuntamente entre alumnos y profesores,

³ <http://www.monografias.com/trabajos10/dapa/dapa.shtml>

⁴ GARCIA MOLINA, RAFAEL (2011). Ciencia recreativa: un recurso didáctico para enseñar deleitando. *Eureka*, (número extraordinario), 370-392.

también contribuye a mejorar las actitudes de los alumnos y de los profesores en el proceso enseñanza-aprendizaje.”

En los planes de estudio de varias universidades (Murcia, Granada y Sevilla) aparecen asignaturas de ciencia recreativa. Cursos basados en esta materia también se ofertan en los centros de formación del profesorado en Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, Universidad de Burgos, Universidad de Alcalá de Henares y Universidad Nacional Mayor de San Marcos (Lima, Perú).

Por otro lado, el Nobel de física Georges Charpak creó un programa conocido internacionalmente como Lamap, en español como *La mano en la masa* y en Colombia como Pequeños Científicos. Todo comenzó en 1.995, después de visitar unas escuelas de un barrio marginal de Chicago que Leon Lederman -Nobel de física igual que él y compartiendo motivaciones por la educación elemental- estaba salvando del naufragio, iniciando a los niños en la ciencia.

En los nueve capítulos de su libro “*los niños y la Ciencia. La aventura de la mano en la masa*”⁵ los autores cuentan y analizan en un lenguaje sencillo y preciso cómo un proyecto de reforma educativa nace por iniciativa de científicos, avalado por una Academia de Ciencias y, lo más curioso, recibido con entusiasmo por los maestros y maestras de los cinco continentes.

El objetivo inicial de Charpak, al crear su proyecto fue: “examinar algunas ideas sencillas que apuntaban a restaurar en la escuela, una ciencia que fuera motivo de reflexión individual y argumento de experimentación colectiva; una ciencia que fuera tanto una incitación a interrogar, a observar, a buscar, a argumentar, a expresarse, como un pretexto para sólo almacenar conocimientos...; sobre todo, una ciencia que abriera su imaginación a infinitos panoramas y que, por tanto, pudiera constituir para ellos una amplia renovación del espíritu”.

Los dos principios fundamentales del proyecto son:

1. Los niños observan un objeto o un fenómeno del mundo real, cercano y sensible, y experimentan sobre él.
2. En el curso de sus investigaciones, los niños argumentan y razonan, exponen y discuten sus ideas y resultados, construyen sus conocimientos, ya que una actividad meramente manual no basta.

Por último, me gustaría nombrar los libros de “enseñar a investigar” de Manuel Belmonte^{6,7}. Son dos libros de ayuda para quien decida realizar una investigación académica seria. Se expone la normativa existente, tipos, características de cada una de las variantes de investigación y de los recursos

⁵ CHARPAK Georges, LÉNA Pierre, QUÉRÉ Yves. (2006). “*Los niños y la Ciencia. La aventura de la mano en la masa*”. Ciencia que ladra. Argentina. Serie Mayor.

⁶ BELMONTE, MANUEL. (2011). Enseñar a investigar. Libro del alumnado. Bilbao. Mensajero.

⁷ BELMONTE, MANUEL. (2011). Enseñar a investigar. Libro del profesorado. Bilbao. Mensajero.

exigidos por cada una de ellas, así como sugerencias, consejos y recomendaciones.

En el libro del alumnado (hay un libro del alumnado y otro del profesorado) detalla la elaboración de una memoria de la investigación, su formato y estructura correcta. Este libro me ha servido tanto para escribir mi trabajo fin de master y para saber qué pedir y cómo a los alumnos.

Para cada parte del trabajo (introducción, objetivos, fundamentos teóricos, conclusiones,...) se proponen ejemplos reales y prácticos.

Mi aportación a este campo es proponer demostraciones que se puedan preparar en casa con material sencillo y económico.

2. CONJUNTO DE EXPERIMENTOS

2.1. CARACTERÍSTICAS DE LAS EXPERIENCIAS

Los diez experimentos que aparecen a continuación tienen en común que se pueden realizar con material casero y barato.

Además duran muy pocos segundos, por lo que son fáciles de enseñarlos en clase.

2.2. EXPERIENCIAS

2.2.1. EXPERIENCIA 1: teoría de la gravitación universal

OBJETIVO: Observar un modelo de las orbitas que haría un cuerpo cerca de un planeta o de una estrella.

MATERIAL:

- una canica
- recipiente hondo

INTRODUCCIÓN TEÓRICA:

- INTRODUCCIÓN HISTÓRICA:

Johannes Kepler (1571-1630) Astrónomo, matemático y físico alemán. La primera etapa en la obra de Kepler, desarrollada durante sus años en Graz, se centró en los problemas relacionados con las órbitas planetarias, así como en las velocidades variables con que los planetas las recorren, para lo que partió de la concepción pitagórica según la cual el mundo se rige en base a una armonía preestablecida. Tras intentar una solución aritmética de la cuestión, creyó encontrar una respuesta geométrica relacionando los intervalos entre las órbitas de los seis planetas entonces conocidos con los cinco sólidos regulares. Juzgó haber resuelto así un «misterio cosmográfico» que expuso en su primera obra, *Mysterium cosmographicum* (El misterio cosmográfico, 1596), de la que envió un ejemplar a Brahe y otro a Galileo, con el cual mantuvo una esporádica relación epistolar y a quien se unió en la defensa de la causa copernicana.

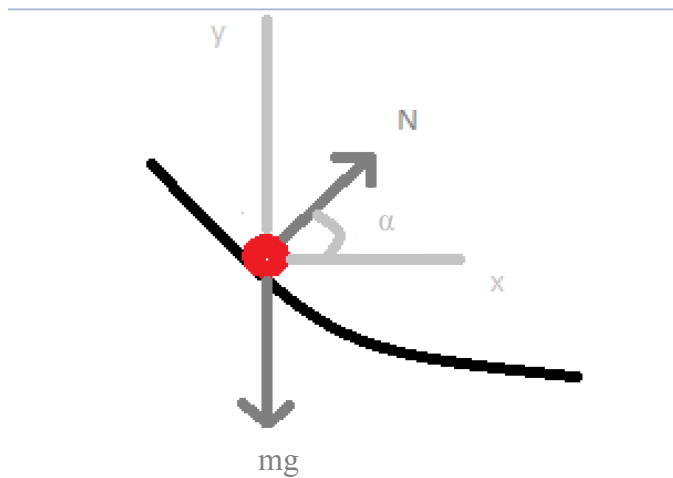
Pero el trabajo más importante de Kepler fue la revisión de los esquemas cosmológicos conocidos a partir de la gran cantidad de observaciones acumuladas por Brahe (en especial, las relativas a Marte), labor que desembocó en la publicación, en 1609, de la *Astronomia nova* (Nueva astronomía), la obra que contenía las dos primeras leyes llamadas de Kepler, relativas a la elipticidad de las órbitas y a la igualdad de las áreas barridas, en tiempos iguales, por los radios vectores que unen los planetas con el Sol.

Culminó su obra durante su estancia en Linz, en donde enunció la tercera de sus leyes, que relaciona numéricamente los períodos de revolución de los planetas con sus distancias medias al Sol; la publicó en 1619

en *Harmonices mundi* (Sobre la armonía del mundo), como una más de las armonías de la naturaleza, cuyo secreto creyó haber conseguido desvelar merced a una peculiar síntesis entre la astronomía, la música y la geometría.

- TEORÍA:

Cuando empujamos la canica en el bol, las fuerzas que actúan sobre la órbita circular son:



La canica no se desplaza en el eje y, por lo que está en equilibrio:

$$N \sin \alpha - mg = 0$$

En el eje x:

$$F = ma$$

$$N \cos \alpha = mv^2/r = ma_N$$

Por lo tanto,

$$N \sin \alpha = mg$$

$$N = mg / \sin \alpha$$

$$N \cos \alpha = mg \cos \alpha / \sin \alpha = ma_N$$

$$a_N = g \cos \alpha / \sin \alpha = v^2/r$$

$$r = (v^2 \tan \alpha) / g$$

La canica tiene una aceleración tangencial que le hace girar describiendo una órbita circular. Se ve que para distintas velocidades adquiere distintos radios.

METODO OPERATORIO:

Elegimos un recipiente hondo como un bol o una ensaladera de sección circular y una canica pequeña.

Le damos un empujón transversal a la canica en un lateral del recipiente y veremos como gira formando una órbita circular o elíptica.

Recomendaciones: Si el recipiente no es lo suficientemente hondo o si el fondo es muy plano, puede que no salga la experiencia.

2.2.2. EXPERIENCIA 2: campo gravitatorio

OBJETIVO: comprobar que la aceleración de caída es independiente de la masa y que la ecuación de movimiento uniformemente acelerado es $y = y_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$.

MATERIAL:

- diez botellas iguales de plástico
- una ventana
- cronómetros
- metro
- una cuerda larga (20m)

INTRODUCCIÓN TEÓRICA:

- INTRODUCCIÓN HISTÓRICA:

Aristóteles que nació en el año 384 a.c. en una pequeña localidad macedonia cercana al monte Athos llamada Estagira decía que cada cosa tiende *por naturaleza* a cierta posición preferida. Por ejemplo: Una piedra cae porque es natural que vaya al suelo, ya que la piedra y el suelo tienen naturaleza parecida. Los movimientos que observamos son precisamente su tendencia de ir allí.

Pero Aristóteles, distinguía entre lo que llamaba *movimientos naturales* (por .ej el agua bajando por un torrente) y *movimientos violentos* (p.ej. disparar una flecha). En los movimientos violentos, producidos por los seres vivos, creía que siempre debía estar actuando una fuerza. En el caso de la flecha, la fuerza inicial la producía el arquero, pero luego creía que lo que mantenía la flecha en movimiento era la fuerza del aire que la empujaba constantemente desde atrás.

Hasta Galileo (siglo XVII) esta fue la teoría aceptada.

Galileo que nació en Pisa en 1564 no sólo reflexionó sobre esto (¿qué pasa si el arquero dispara su flecha al revés?; ¿no debería llegar más lejos, si de verdad el aire la empuja, dado que en esa dirección ofrece más superficie que de frente?), sino que también experimentó tirando distintos objetos desde la Torre inclinada de Pisa. Observó que los cuerpos caían igual, independientemente de su masa, tamaño y forma (si despreciaba el efecto de fricción del aire) y que no caían con velocidad constante, como creía Aristóteles, sino que iban acelerándose.

Newton nació en el año en que moría Galileo, en el pueblecito de Woolsthorpe en el Lincolnshire, y formuló rigurosamente las tres leyes fundamentales del movimiento: la primera ley de Newton o ley de la inercia, según la cual todo cuerpo permanece en reposo o en movimiento rectilíneo uniforme si no actúa sobre él ninguna fuerza; la segunda o principio fundamental de la dinámica, según el cual la aceleración que experimenta un

cuerpo es igual a la fuerza ejercida sobre él dividida por su masa; y la tercera, que explica que por cada fuerza o acción ejercida sobre un cuerpo existe una reacción igual de sentido contrario. Con estas tres leyes y a partir de las leyes de Kepler dedujo una cuarta, que es la más conocida: la ley de la gravedad, que según la leyenda le fue sugerida por la observación de la caída de una manzana del árbol. Descubrió que la fuerza de atracción entre la Tierra y la Luna era directamente proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa, calculándose dicha fuerza mediante el producto de ese cociente por una constante G ; al extender ese principio general a todos los cuerpos del Universo lo convirtió en la ley de gravitación universal.

Einstein: Entender la relatividad general de Einstein no es fácil. L Silberstein preguntó a Eddington tras el eclipse de 1919 (cuando se acababa de confirmar la predicción de Einstein de que la luz se curvaba por la gravedad): "Profesor, usted debe ser una de las tres personas en el mundo que entiendan la relatividad ¿verdad?". Eddington se quedó dudando, y Silberstein insistió: "Vamos, profesor, no sea modesto". Eddington respondió: "Al contrario, intento pensar quién es la tercera..."

- TEORÍA:

Las botellas caen en caída libre, un movimiento influenciado únicamente por la gravedad. Estos cuerpos tienen una aceleración hacia abajo del valor de;

$$g = 9,8 \text{ m/s}^2:$$

$$F_g = -GM_T m / r^2 = ma$$

$$a = g = -GM_T / R_T^2$$

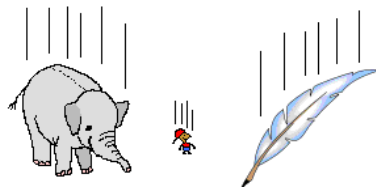
Substituyendo la aceleración de la gravedad en las ecuaciones generales de movimiento:

$$y = y_0 + v_0 t - 0.5gt^2$$

Si dejamos caer las botellas, la velocidad inicial será $v_0 = 0$

$$y = y_0 - 0.5gt^2$$

Como vemos, esta ecuación no depende de la masa, las dos botellas llegan al mismo tiempo.



$$\frac{F}{m} = \frac{F}{m} = \frac{F}{m}$$

- PRECONCEPTOS ERRÓNEOS:

Se suele pensar que el cuerpo más masivo tendrá mayor aceleración.

MÉTODO OPERATORIO:

Llenaremos las botellas en el lavabo con los alumnos, la mitad hasta arriba y las otras cinco hasta la mitad, para que vean que su peso es distinto.



Repartiremos los cronómetros que haya entre los alumnos (4 o 5 para minimizar errores) y los sincronizaremos en clase.

Se elige el lugar adecuado para realizar la experiencia. Necesitamos una ventana o un balcón que de a un sitio no muy concurrido.

3 o 4 alumnos se quedarán en la ventana con las botellas y la cuerda o el

metro y los demás saldrán fuera con la profesora y despejarán el lugar donde se caerán las botellas. Hay que asegurarse de que nadie pase por debajo de la ventana.

Mediremos la altura de la ventana. Los alumnos que están en la ventana, soltarán una cuerda asta que llegue al suelo, y después se medirá la longitud de la cuerda con un metro.

Los alumnos de la ventana empezarán a soltar las botellas de dos en dos (una llena y otra media llena) y los que están abajo medirán el tiempo que tardan en bajar.

Observaremos que ambas botellas llegan al mismo tiempo.

ANÁLISIS:

He realizado la experiencia para tres alturas distintas, y estos son los datos y errores obtenidos:

Prueba1:

La altura de la ventana, $H = 3,62 \pm 0,01 \text{ m}$

Tiempos de caída obtenidos:

$T_1 = 1,01 \text{ s}$

$T_2 = 1,03 \text{ s}$

$T_3 = 0,9 \text{ s}$

$T_4 = 0,96 \text{ s}$

$T_5 = 0,92 \text{ s}$

Promedio del tiempo de caída, $t' = 0,96 \pm 0,01$ s

Tiempo de reacción: 0,2s

El tiempo de reacción es mucho mayor que el error del cronómetro. Para calcular el error relativo de la aceleración universal, escogeremos el mayor de los anteriores.

$$t = 1,0 \pm 0,2 \text{ s}$$

$$g = 2h/t^2$$

$$g = 2 \cdot 3,62 / 0,96^2 = 7,86 \text{ m/s}^2$$

$$\Delta(g) = 2\Delta(h)/t^2 + 4h \Delta(t)/t^3$$

$$\Delta(g) = 3 \text{ m/s}^2$$

$$g = 8 \pm 3 \text{ m/s}^2$$

Prueba2:

$$H = 5,70 \pm 0,01 \text{ m}$$

$$T1 = 1,01 \text{ s}$$

$$T2 = 1,08 \text{ s}$$

$$T3 = 1,25 \text{ s}$$

$$T4 = 1,13 \text{ s}$$

$$T5 = 1,17 \text{ s}$$

$$t' = 1,13 \pm 0,01 \text{ s}$$

Tiempo de reacción = 0,2s

$$t = 1,1 \pm 0,2 \text{ s}$$

$$g = 2 \cdot 5,7 / 1,1^2 = 9,42 \text{ m/s}^2$$

$$\Delta(g) = 2\Delta(h)/t^2 + 4h \Delta(t)/t^3$$

$$\Delta(g) = 3 \text{ m/s}^2$$

$$g = 9 \pm 3 \text{ m/s}^2$$

Prueba3:

$$H = 13,00 \pm 0,02 \text{ m}$$

$$T1 = 1,56 \text{ s}$$

$$T2 = 1,52 \text{ s}$$

$$T3 = 1,77 \text{ s}$$

$$T4 = 1,68 \text{ s}$$

$$T5 = 1,63 \text{ s}$$

$$t' = 1,63 \pm 0,01 \text{ s}$$

tiempo de reacción = 0,2s

$$t = 1,6 \pm 0,2 \text{ s}$$

$$g = 2 \cdot 13 / 1,6^2 = 10,16 \text{ m/s}^2$$

$$\Delta(g) = 2\Delta(h)/t^2 + 4h \Delta(t)/t^3$$

$$\Delta g = 3 \text{ m/s}^2$$

$$g = 10 \pm 3 \text{ m/s}^2$$

CONCLUSIONES:

Cuanto más alto este la ventana, las botellas tardan más en bajar pero como error que tenemos al encender y apagar el cronómetro se mantiene, el error absoluto de g no se cambia.

Se puede ver que en la tercera prueba el resultado es mejor y se acerca al teórico.

Por lo tanto, es recomendable dejar caer las botellas de una altura superior a 6m, por ejemplo de un sexto piso (20m).

2.2.3. EXPERIENCIA 3: movimiento vibratorio armónico

OBJETIVO: comprobar la ley de Hooke y hallar la constante de varios muelles.

MATERIAL:

- 3 muelles distintos
- Soporte
- Una regla
- Dinamómetro



INTRODUCCIÓN TEÓRICA:

- INTRODUCCIÓN HISTÓRICA:

El primer descubrimiento de física de Galileo Galilei fue el isocronismo de las oscilaciones pendulares (entendemos por isocronismo la igualdad de la duración de dos movimientos rítmicos). Sin embargo, debemos señalar que, sin ningún conocimiento de ello por parte de Galileo, el isocronismo fue descubierto en el siglo X por el astrónomo árabe Ibn Junis.

En diferentes documentos se relata como Galileo descubrió el funcionamiento del péndulo. En el año 1583; en la catedral de Pisa le llamó la atención el ir y venir oscilante de una lámpara de aceite que pendía del techo. Observó que el tiempo que tardaba en completar una oscilación era aproximadamente el mismo, aunque la amplitud del desplazamiento iba disminuyendo con el tiempo. Por supuesto, Galileo no disponía de cronometro alguno para medir con un mínimo de precisión ese tiempo empleado por cada oscilación de la lámpara. No se le ocurrió otra cosa que usar como patrón de medida su propio pulso; de esta manera Galileo pudo constatar que el tiempo empleado era prácticamente el mismo en cada oscilación independientemente de la amplitud recorrida.

Robert Hooke, un científico inglés, es considerado uno de los científicos experimentales más importantes de la historia de la ciencia. En 1660, mientras trabajaba como ayudante de Robert Boyle, también trabajaba con relojes. Buscaba unos que permitieran una medición exacta del tiempo durante la

navegación. Sabía que los relojes de péndulo eran inútiles con los vaivenes del barco y sugirió utilizar muelles en lugar de la gravedad para accionar el reloj. Gracias a sus experimentos, construyó un reloj con muelle en espiral cosa que tuvo una importancia capital en la fabricación de los relojes de bolsillo y también hizo mejoras en el mecanismo de escape. En fin, que aunque no llegara a diseñar un reloj extraordinariamente preciso hizo muchas mejoras respecto a los diseños existentes. Incluso regaló uno de sus relojes a Carlos II, quien se mostró muy complacido.

También inventó el engranaje universal que se utiliza en los vehículos a motor. Y también inventó el diafragma iris de las cámaras.

Fue también por aquella época en la que descubrió la famosa Ley de Hooke, aunque no la publicó hasta 1678. Si era conocida antes de él no lo sabemos; lo que sí sabemos es que nadie anterior a él la había publicado.

- TEORÍA:

Si el muelle se estira o se comprime una pequeña distancia x respecto de su estado de equilibrio (no deformado) la fuerza que hay que ejercer es proporcional a x .

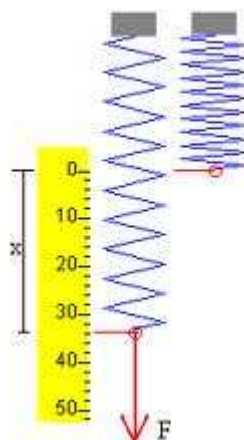
$$F=k \cdot x$$

La fuerza recuperadora ejercida por el muelle:

$$F_R = - kx$$

La constante de proporcionalidad k se denomina constante elástica del muelle.

Esta expresión de la fuerza (F_R) se conoce como ley de Hooke.



MÉTODO OPERATORIO:

Enganchamos el extremo de un muelle al dinamómetro mientras que el soporte sujeta el otro extremo sin moverlo. Lo colocamos al lado de la regla para conocer la posición inicial y seguidamente tiramos del dinamómetro.

Todos los alumnos tendrán que apuntar la posición inicial, la posición final, la elongación y la fuerza aplicada para cada caso.

Con los datos obtenidos y aplicando la ley de hooke, tendrán que calcular el constante de cada muelle y entregarlo junto con un resumen de la experiencia.

ANÁLISIS:

He realizado la experiencia para tres muelles, y estos son los datos obtenidos:

Muelle1:

Longitud inicial, $L_0 = 7,0 \pm 0,1 \text{ cm}$

Fuerza (N)	Elongación (cm)	K (N/m)
$5,0 \pm 0,1$	$0,4 \pm 0,1$	1250
$7,0 \pm 0,1$	$0,7 \pm 0,1$	1000
$10,0 \pm 0,1$	$1,1 \pm 0,1$	909

$$K' = 1053 \text{ N/m}$$

$$x' = 0,7 \pm 0,1 \text{ cm}$$

$$F' = 7,3 \pm 0,1 \text{ N}$$

$$\Delta k = \Delta F / x + F \Delta x / x^2$$

$$\Delta k = 2 \text{ N/m}$$

$$K = 1053 \pm 2 \text{ N/m}$$

Muelle2:

Longitud inicial, $L_0 = 10,0 \pm 0,1 \text{ cm}$

Fuerza, F (N)	Elongación, x (cm)	K (N/m)
$5,0 \pm 0,1$	$0,6 \pm 0,1$	833
$7,0 \pm 0,1$	$0,8 \pm 0,1$	875
$10,0 \pm 0,1$	$1,3 \pm 0,1$	769

$$K' = 826 \text{ N/m}$$

$$x' = 0,9 \pm 0,1 \text{ cm}$$

$$F' = 7,3 \pm 0,1 \text{ N}$$

$$\Delta k = \Delta F / x + F \Delta x / x^2$$

$$\Delta k = 1 \text{ N/m}$$

$$K = 829 \pm 1 \text{ N/m}$$

Muelle3:

Longitud inicial, $L_0 = 10,7 \pm 0,1 \text{ cm}$

Fuerza (N)	Elongación (cm)	K (N/m)
$16,0 \pm 0,1$	$0,6 \pm 0,1$	2667
$18,0 \pm 0,1$	$0,7 \pm 0,1$	2571
$20,0 \pm 0,1$	$0,8 \pm 0,1$	2500

$$K' = 2579 \text{ N/m}$$

$$x' = 0,7 \pm 0,1 \text{ cm}$$

$$F' = 18,0 \pm 0,1 \text{ N}$$

$$\Delta k = \Delta F / x + F \Delta x / x^2$$

$$\Delta k = 4 \text{ N/m}$$

$$K = 2579 \pm 4 \text{ N/m}$$

CONCLUSIONES:

Los muelles utilizados en esta práctica tienen la constante k muy alto, esto es, son muy duros. En estos casos si la elongación cambia en algún milímetro ($\pm 1 \text{ mm}$), la constante cambia mucho.

Es mejor realizar la experiencia con muelles más blandos (con la constante k más pequeña), así pasa las mismas fuerzas, la elongación será mayor y las constantes se acercarán más.

2.2.4. EXPERIENCIA 4: movimiento ondulatorio

OBJETIVO: Crear ondas longitudinales y transversales.

MATERIAL:

- 1 plato hondo
- Agua
- Un slinky

INTRODUCCIÓN TEÓRICA:

- **INTRODUCCIÓN HISTÓRICA:**

El fenómeno ondulatorio ha sido investigado por siglos, siendo una de las preguntas más controversiales en la historia de la ciencia, la naturaleza corpuscular de la luz.

De hecho Isaac Newton utilizó sus conocimientos de las propiedades ondulatorias para reforzar su creencia de que la luz no podía ser una onda. Su error era originado por su incapacidad de medir las longitudes de onda extremadamente pequeñas de la luz visible, además de no haber comprendido correctamente los fenómenos de interacción de la luz con la materia.

No fue sino hasta los experimentos de doble rendija realizados por Thomas Young que se modificó el paradigma, transformándose de un modelo de partículas a un modelo ondulatorio, mismo modelo que fue apoyado posteriormente por la descripción matemática de la luz que realizó James Clerk Maxwell.

En 1873, el científico inglés James Clerk Maxwell (1831-1879), manifestó la íntima conexión entre los campos eléctrico y magnético, al señalar: un campo eléctrico variable origina un campo magnético. Con su teoría comprobó que la electricidad y el magnetismo existían juntos, y por lo tanto no debían aislarse. Esto dio origen a la Teoría Electromagnética, en ella se afirmaba que la luz se propagaba en ondas a través del espacio y así como existían ondas luminosas era posible suponer la existencia de ondas electromagnéticas viajando por el espacio.

Más tarde el físico alemán Heinrich Hertz (1857-1894), estudió las ecuaciones planteadas por Maxwell para la Teoría electromagnética y logró demostrar con la producción de ondas electromagnéticas, que éstas se desplazan por el espacio sin necesidad de cables conductores y que su naturaleza es semejante a las ondas luminosas.

A fines del siglo XIX los científicos reconocieron la existencia de las ondas electromagnéticas y las llamaron ondas hertzianas como un reconocimiento a éste físico alemán.

- **TEORÍA:**

Podemos introducir el concepto de onda mecánica como la propagación de una perturbación en un medio material, aprovechando las propiedades elásticas de dicho medio.

Cuando la primera partícula se desvía longitudinalmente de su posición de equilibrio y a continuación se suelta, su movimiento se transmite a la

segunda partícula y de ésta a la continuación se suelta, su movimiento se transmite a la segunda partícula y de ésta a la tercera, y así sucesivamente. El resultado es la propagación de un pulso longitudinal. El movimiento longitudinal de las masas tiene semejanza con el de las partículas de un medio material en el se propaga una onda longitudinal.

En el caso de que las masas se desplazaran transversalmente el movimiento que percibiríamos sería semejante a la propagación de una onda transversal en el medio material. Existen otros casos en los que los movimientos de las partículas del medio no son ni puramente longitudinales ni transversales (por ejemplo las ondas superficiales en un líquido).

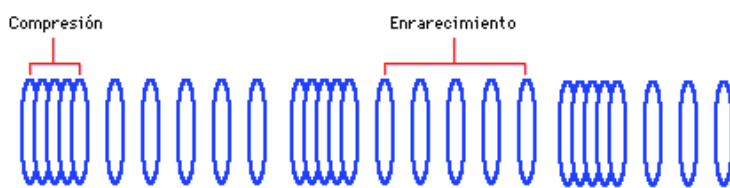


Figura 1: onda longitudinal



Figura 2: onda transversal

La velocidad con la que las ondas se propagan en un medio depende de las características de dicho medio. Cuando la velocidad de propagación de las ondas es la misma para todas las frecuencias se dice que el medio es no dispersivo para esas ondas. En el caso contrario, cuando la velocidad de propagación depende de la frecuencia el medio es dispersivo.

MÉTODO OPERATORIO:

Primero se coge el slinky (un muelle largo de plástico) y se coloca en el suelo. Se le pide a un alumno que sujete un extremo del muelle y que lo estire. El/ la profesor/a hará pulsos transversales para ver las ondas transversales, y pulsos al mismo sentido de la propagación de la onda para ver las ondas longitudinales.

Si el slinky es muy corto, no se podrán ver las ondas. Con uno de unos 15cm (recogido) se aprecian muy bien.

Seguidamente se llena el plato hondo con agua, y se les deja a los alumnos que echen gotas en ella para ver las ondas que se crean.



2.2.5. EXPERIENCIA 5: fenómenos ondulatorios

OBJETIVO: la visión de las ondas estacionarias en las cuerdas.

MATERIAL DE INSTITUTO:

- cables de conexión
- cordón de goma
- fuente de alimentación
- cronovibrador

MATERIAL CASERO:

- un motor pequeño (un ventilador pequeño, un cepillo de dientes eléctrico, algún juguete de pilas con hélice,...)
- pilas
- cordón de goma
- un plástico circular

INTRODUCCIÓN TEÓRICA:

- INTRODUCCIÓN HISTÓRICA:

Willebrord Snel van Royen fue un astrónomo y matemático holandés que nació en 1580 en Leiden, una pequeña ciudad holandesa, y murió en 1626 en el mismo lugar. En 1621 enunció la ley de la refracción, aunque esto se le atribuyó a Descartes inicialmente. La ley de la refracción de Snell es una fórmula simple para calcular el ángulo de refracción (de desviación) de la luz al atravesar una superficie que separa dos medios con distinto índice de refracción. Dice que el producto del índice de refracción por el seno del ángulo de incidencia es constante para cualquier rayo de luz que incide sobre la superficie que separa los dos medios.

Christiaan Huygens (La Haya, 1629-id., 1695) Matemático, astrónomo y físico holandés. Hijo del poeta renacentista Constantijn Huygens, en el campo de la óptica elaboró la teoría ondulatoria de la luz, partiendo del concepto de que cada punto luminoso de un frente de ondas puede considerarse una nueva fuente de ondas (Principio de Huygens). A partir de esta teoría explicó, en su obra *Traité de la lumière*, la reflexión, refracción y doble refracción de la luz. Dicha teoría quedó definitivamente demostrada por los experimentos de Thomas Young, a principios del siglo XIX.

Christian Andreas Doppler nació en 1803 en Salzburgo, Austria. La contribución más famosa de Doppler a la Física sigue siendo el efecto Doppler, que fue presentado en 1842, en su trabajo *"La Luz Coloreada de las Dobles Estrellas y Otras Estrellas en el Cielo"*. Doppler postuló las relaciones entre la frecuencia de una fuente y su velocidad relativa hacia un observador. Esta teoría proporcionó los principios para determinar, en el futuro, la distancia de estrellas distantes y galaxias al notar un cambio en el color de la luz que irradian. Un cambio hacia colores rojizos de la parte final del espectro implicaría que el planeta se aleja, mientras que un cambio hacia colores azulados, indicaría que se acerca.

- TEORÍA:

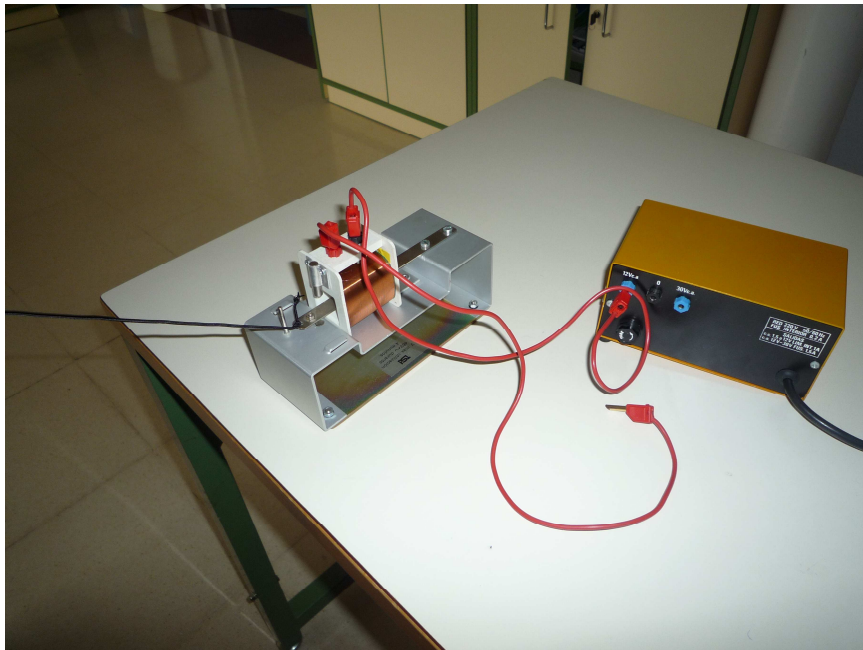
Cuando el cronovibrador oscila continuamente y siempre al mismo ritmo, se forma una sucesión de ondas o tren de ondas completas progresivas que avanzarían indefinidamente, si la cuerda fuese infinita.

Como la cuerda no es indefinida, las ondas sucesivas llegan a su extremo y vuelven reflejadas, con inversión de forma porque el extremo está fijo. Al cruzarse las ondas estacionarias, que se llaman así porque la cuerda adquiere un movimiento de aspecto especial en el que ya no se puede apreciar nada que se desplace a lo largo del mismo. Sólo se ve que algunos puntos oscilan fuertemente y que otros permanecen en reposo. Los primeros se llaman vientos y los segundos nodos.

MÉTODO OPERATORIO:

Se ata el cordón a la lamina del cronovibrador para que entre en resonancia con la corriente alterna y se va estirando el cordón de goma con la mano.

En el cordón se forman ondas estacionarias en número variable y de distintas longitudes según la tensión.



MÉTODO OPERATORIO CASERO:

Si usamos el ventilador (es el material que he utilizado), primero se le quita la hélice para dejar al descubierto el parte del motor que gira.

En segundo lugar se coloca el plástico circular en la parte que gira. Este objeto tiene que tener aproximadamente un diámetro de 3cm y tiene que ser ligero. El punto giratorio se pegará a un punto exterior del círculo, para que cuando lo pongamos en marcha, el círculo gire y el ventilador vibre.

Por último, cortamos el cordón de goma de 1m y lo pegamos a un extremo del ventilador.

Una vez montado todo, ponemos las pilas y lo encendemos. Sujetaremos el aparato por el cordón de goma, y se varia el punto de sujeción (de los dedos en la goma) para encontrar los armónicos de la goma.

Veremos los primeros armónicos en posiciones concretas, y para todos los demás puntos de sujeción no se verá nada.



2.2.6. EXPERIENCIA 6: campo eléctrico

OBJETIVO: crear electricidad estática

MATERIAL:

- Globos
- Jersey o camiseta de algodón

INTRODUCCIÓN TEÓRICA:

- INTRODUCCIÓN HISTÓRICA:

Robert Andrews Millikan (1868 - 1953) Físico estadounidense de origen escocés. En 1907 inició una serie de trabajos destinados a medir la carga del electrón, estudiando el efecto de los campos eléctrico y gravitatorio sobre una gota de agua (1909) y de aceite (1912), y deduciendo de sus observaciones el primer valor preciso de la constante " e ". Obtuvo además la primera determinación fotoeléctrica del cuanto de luz, verificando la ecuación fotoeléctrica de Einstein (1916), y evaluó la constante " h " de Planck.

Joseph John Thomson (1856 - 1940) Físico británico. Thomson investigó la naturaleza de los rayos catódicos y demostró que los campos eléctricos podían provocar la desviación de éstos y experimentó su desviación, bajo el efecto combinado de campos eléctricos y magnéticos, buscando la relación existente entre la carga y la masa de las partículas, proporcionalidad que se mantenía constante aun cuando se alteraba el material del cátodo. En 1897 descubrió una nueva partícula y demostró que ésta era aproximadamente mil veces más ligera que el hidrógeno. Esta partícula fue bautizada por Stoney con el nombre de electrón. Joseph John Thomson fue, por tanto, el primero que identificó partículas subatómicas y dio importantes conclusiones sobre esas partículas cargadas negativamente. Con el aparato que construyó obtuvo la relación entre la carga eléctrica y la masa del electrón.

Thomson examinó además los rayos positivos, estudiados anteriormente por E. Goldstein, y en 1912 descubrió el modo de utilizarlos en la separación de átomos de diferente masa. El objetivo se consiguió desviando los rayos positivos en campos eléctricos y magnéticos, método que en la actualidad se llama espectrometría de masas. Con esta técnica descubrió que el neón posee dos isótopos, el neón-20 y el neón-22.

Charles Coulomb (1736- 1806) Físico francés. Enunció la ley física que lleva su nombre (ley de Coulomb), que establece que la fuerza existente entre dos cargas eléctricas es proporcional al producto de las cargas eléctricas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa. Las fuerzas de Coulomb son unas de las más importantes que intervienen en las reacciones atómicas.

Influido por los trabajos del inglés Joseph Priestley (ley de Priestley) sobre la repulsión entre cargas eléctricas del mismo signo, desarrolló un

aparato de medición de las fuerzas eléctricas involucradas en la ley de Priestley, y publicó sus resultados entre 1785 y 1789. Estableció que las fuerzas generadas entre polos magnéticos iguales u opuestos son inversamente proporcionales al cuadrado de la distancia entre ellos, lo cual sirvió de base para que, posteriormente, Simon-Denis Poisson elaborara la teoría matemática que explica las fuerzas de tipo magnético.

La unidad de carga eléctrica del Sistema Internacional lleva el nombre de culombio (simbolizado C) en su honor.

Lord Henry Cavendish (1731- 1810) Físico y químico británico. Fueron notables sus trabajos en el campo de la electricidad al introducir el concepto de potencial, medir la capacitancia y anticipar la ley de Ohm. También determinó la densidad y la masa de la Tierra por medio de una balanza de torsión.

Importantísimos son también sus trabajos sobre la electricidad, que hasta setenta años después de su muerte no fueron publicados por Maxwell con el título de *Investigaciones sobre la electricidad*. En ellos Henry Cavendish se anticipó a las investigaciones de Coulomb, Faraday y otros. Cavendish se basó en una teoría de la electricidad análoga a la expuesta por el alemán Aepino (1724-1802) en su *Ensayo de una hipótesis sobre la naturaleza de la electricidad y del magnetismo*. El propio Aepino (y más tarde Priestley) intuyó vagamente que las acciones mutuas de dos cargas eléctricas deberían ser inversamente proporcionales al cuadrado de sus distancias, por analogía con la ley de la gravitación de Newton. Cavendish señaló que una exacta determinación matemática de las fuerzas de atracción y repulsión debe constituir la base de toda teoría, y fue el primero que consiguió relacionar la ley de distribución de la electricidad en un conductor con la ley de las atracciones inversamente proporcionales a los cuadrados de las distancias.

- TEORÍA:

Los materiales con los que tratamos en nuestra vida diaria están formados por átomos y que son eléctricamente neutros porque tienen el mismo número de cargas positivas (protones en el núcleo), que de cargas negativas (electrones alrededor del núcleo). El fenómeno de la electricidad estática requiere de una separación sostenida entre las cargas positivas y negativas.



Existen tres métodos fundamentales para electrizar la materia: por frotamiento, por contacto y por inducción.

Inducción de la separación de cargas por rozamiento: Los electrones pueden ser intercambiados entre dos materiales por rozamiento, los materiales que tienen unos electrones débilmente ligados tienen tendencia a perderlos mientras que los materiales que no tienen llenas las capas externas de electrones tienen tendencia a ganarlos.

Electrización por contacto: Cuando un cuerpo cargado se pone en contacto con otro, la carga eléctrica se distribuye entre los dos y, de esta manera, los dos cuerpos quedan cargados con el mismo tipo de carga.

Electrización por inducción: Un cuerpo cargado eléctricamente puede atraer a otro cuerpo que está neutro. Cuando acercamos un cuerpo electrizado a un cuerpo neutro, se establece una interacción eléctrica entre las cargas del primero y el cuerpo neutro. Como resultado de esta relación, la redistribución inicial se ve alterada: las cargas con signo opuesto a la carga del cuerpo electrizado se acercan a éste. En este proceso de redistribución de cargas, la carga neta inicial no ha variado en el cuerpo neutro, pero en algunas zonas está cargado positivamente y en otras negativamente.

Se puede escribir una escala triboeléctrica basada en la carga que adquieren los distintos materiales al ponerse en contacto y rozar unos con otros. Se ordenan de manera que puestos en contacto y separados dos materiales descargados, aquel que se lleve más electrones quedará cargado negativamente y el que quede con menos positivamente.

Esta es una lista abreviada de materiales ordenados según la carga relativa que adquieren:

Materiales más positivos	aire vidrio pulido fibra sintética piel de conejo mica lana piel de gato plomo aluminio papel	Los materiales que están más próximos al extremo más negativo , tienen propensión a adquirir carga eléctrica negativa al rozar con materiales situados encima de ellos. Los materiales más próximos al extremo más positivo tienen tendencia a adquirir carga eléctrica positiva al rozar con los situados debajo de ellos.
Materiales neutros	algodón papel ebonita acero madera caucho resina cobre níquel	Para adquirir una carga máxima los materiales puestos en contacto debe estar lo más apartados posible el uno del otro en esta lista
	plata azufre vidrio sin pulir acetato(celuloide) poliéster	

Materiales más negativos	silicona	
	teflón	

MÉTODO OPERATORIO:

Se les dará un globo a cada alumno/a que tendrán que inflarlo. Continuamente frotarán el globo contra la camiseta y lo acercarán, al pelo.

Cuando frotamos el globo, lo cargamos eléctricamente (si vemos la escala triboeléctrica, el algodón está más arriba que el globo. El globo se cargará negativamente) y al acercarlo a la cabeza atraerán el pelo por electrización por inducción y veremos como se acercan (los pelos) al globo (con los pelos cortos no es tan evidente).

Para realizar esta experiencia el pelo tendrá que estar limpio y seco.

Si llegan a tocar el pelo con el globo, el pelo se electrizará por contacto y se verá que los pelos se repelen entre ellos porque la fuerza eléctrica que actúa entre ellos es mayor que la gravitatoria.



2.2.7. EXPERIENCIA 7: campo magnético

OBJETIVO: observar el campo magnético creado por una corriente eléctrica.

MATERIAL:

- Pila
- Cables de conexión
- Brújula



INTRODUCCIÓN TEÓRICA:

- INTRODUCCIÓN HISTÓRICA:

William Gilbert (1544 - 1603) Físico y médico inglés. Fue uno de los pioneros en el estudio experimental de los fenómenos magnéticos. Pero su fama se apoya especialmente en sus estudios sobre el magnetismo contenidos en *El imán y los cuerpos magnéticos* (*De magnete magneticisque corporibus*). Esta obra, que Galileo calificó de fundamental, fue publicada en Londres en 1600 y debe considerarse como el primer tratado importante de física aparecido en Inglaterra. Gilbert compiló en ella sus investigaciones sobre cuerpos magnéticos y atracciones eléctricas. Gilbert distingue netamente los fenómenos eléctricos de los magnéticos, refiriendo los resultados de algunas de sus experiencias dirigidas a demostrar que el hierro, al ser frotado por cuerpos electrizados como el diamante, no presenta fenómenos magnéticos. Con este propósito introdujo el autor nuevos términos que serían después usados corrientemente en la física ("polos magnéticos", "fuerza eléctrica", "cuerpos eléctricos y no eléctricos"). Al mostrar que el hierro, a altas temperaturas, no presenta alteraciones magnéticas, se adelantó a los modernos descubrimientos de Curie.

Gilbert descubrió además que la aguja de la brújula apunta al norte-sur y gira hacia abajo debido a que el planeta Tierra actúa como un gigantesco imán; hay que entender la atracción sólo como un caso particular de la atracción magnética entre polos opuestos. Construyó, con fines experimentales, un pequeño globo magnético llamada Terrella que mostraba la orientación de la aguja magnética de las brújulas en la dirección de los polos y explicaba la variación de la declinación en función de la posición de la brújula.

Hans Christian Oersted (1777- 1851) Físico y químico danés que descubrió la acción magnética de las corrientes eléctricas.

A comienzos de 1820, Oersted advirtió de forma casual, mientras realizaba observaciones sobre el fenómeno eléctrico con una pila análoga a la construida por Volta en 1800, que la aguja de una brújula colocada en las proximidades de un hilo conductor por el que circulaba una corriente eléctrica se desviaba. Repitió incesantemente estos experimentos con pilas más potentes y observó que la aguja oscilaba hasta formar un ángulo recto con el hilo y con la línea que unía la brújula y el hilo.

Si se la desplazaba de forma continua en la dirección que señalaba la aguja, la brújula describía entonces un círculo alrededor del hilo conductor. Invertiendo el sentido de la corriente eléctrica, cambiaba asimismo el sentido de la aguja de la brújula. Los efectos persistían incluso cuando se interponían placas de vidrio, metal o madera entre el hilo conductor y la brújula.

Oersted demostró poco después que el efecto era simétrico. No sólo el cable recorrido por una corriente ejercía fuerzas sobre un imán (la aguja de la brújula): también el imán desarrollaba una fuerza sobre la bobina (carrete formado por hilo conductor) por donde circulaba una corriente eléctrica, actuando un extremo de la bobina como el polo norte de un imán y el otro como el polo sur. Se establecía así la conexión entre los fenómenos eléctrico y magnético.

André-Marie Ampère (1775- 1836) Físico francés. Fundador de la actual disciplina de la física conocida como electromagnetismo. En sólo una semana, Ampère fue capaz de elaborar una amplia base teórica para explicar el fenómeno que descubrió Oersted.

Esta línea de trabajo le llevó a formular una ley empírica del electromagnetismo, conocida como ley de Ampère (1825), que describe matemáticamente la fuerza magnética existente entre dos corrientes eléctricas. Algunas de sus investigaciones más importantes quedaron recogidas en su *Colección de observaciones sobre electrodinámica* (1822) y su *Teoría de los fenómenos electromagnéticos* (1826).

Su desarrollo matemático de la teoría electromagnética no sólo sirvió para explicar hechos conocidos con anterioridad, sino también para predecir nuevos fenómenos todavía no descritos en aquella época. No sólo teorizó sobre los efectos macroscópicos del electromagnetismo, sino que además intentó construir un modelo microscópico que explicara toda la fenomenología electromagnética, basándose en la teoría de que el magnetismo es debido al movimiento de cargas en la materia (adelantándose mucho a la posterior teoría electrónica de la materia). Además, fue el primer científico que sugirió cómo medir la corriente: mediante la determinación de la desviación sufrida por un imán al paso de una corriente eléctrica (anticipándose de este modo al galvanómetro).

Nikola Tesla (1856 - 1943) Físico estadounidense de origen serbio. Tesla fundó en Nueva York un laboratorio de investigaciones electrotécnicas, donde descubrió el principio del campo magnético rotatorio y los sistemas polifásicos de corriente alterna. Creó el primer motor eléctrico de inducción de corriente alterna y otros muchos ingenios eléctricos como el llamado montaje Tesla, un transformador de radiofrecuencia en el que primario y secundario están sintonizados, de utilidad a la hora de preseleccionar la entrada de un receptor radioeléctrico. Predijo la posibilidad de realizar comunicaciones inalámbricas con antelación a los estudios llevados a cabo por Marconi, y en su honor se denomina *tesla* a la unidad de medida de la intensidad del flujo magnético en el sistema internacional.

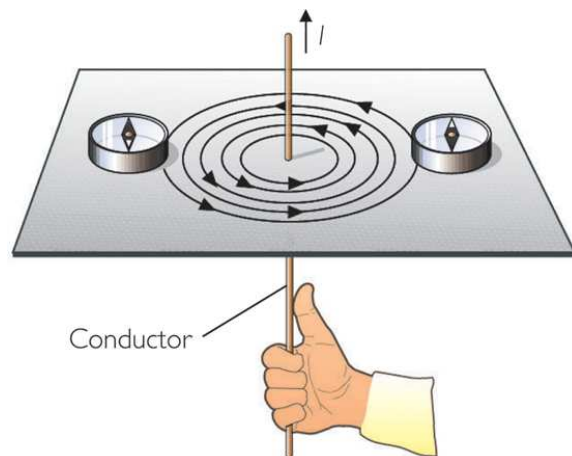
Jean Baptiste Biot (1774-1862) También estudió electromagnetismo descubriendo la ley que lleva su nombre y el de Savart, que afirma que la intensidad del campo magnético generado por una corriente eléctrica rectilínea en un punto situado fuera de ella es directamente proporcional a la intensidad de la corriente e inversamente proporcional a la distancia desde el punto hasta el conductor.

Felix Savart (1791-1841) Junto con Biot, enunció la ley del electromagnetismo conocida como *ley de Biot-Savart*. Realizó investigaciones sobre acústica y mecánica de fluidos e ideó un instrumento (*rueda dentada de Savart*) para medir la frecuencia de una vibración acústica.

- TEORÍA:

Cuando hay una corriente I en un alambre recto infinitamente largo, las líneas del campo magnético B son círculos concéntricos que rodean al alambre.

A una distancia r perpendicular del alambre, el campo B es tangente al círculo. La dirección de la corriente es por definición la dirección en la que fluirían las cargas positivas. La magnitud de B como función de I y de r está dada por:



$$B = \mu_0 I / 2\pi r$$

donde aparecen la permeabilidad del vacío $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$, la intensidad de corriente I y la distancia del punto de observación al hilo r . La unidad en S.I. de B es la Tesla (T).

MÉTODO OPERATORIO:

Se une cada extremo del cable con un polo de la pila y se sujeta el cable con las manos lo mas recto posible.

Movemos la brújula alrededor del cable y la flecha nos indicará la dirección de las líneas de campo magnético.

Se debe de comprobar antes de ir a clase que la pila este cargada con un voltímetro.

El cable que une los polos de la pila, tiene que ser lo más largo posible. De este modo, evitaremos que otras líneas de campo influyan en la brújula y también mantendremos mejor el cable recto.

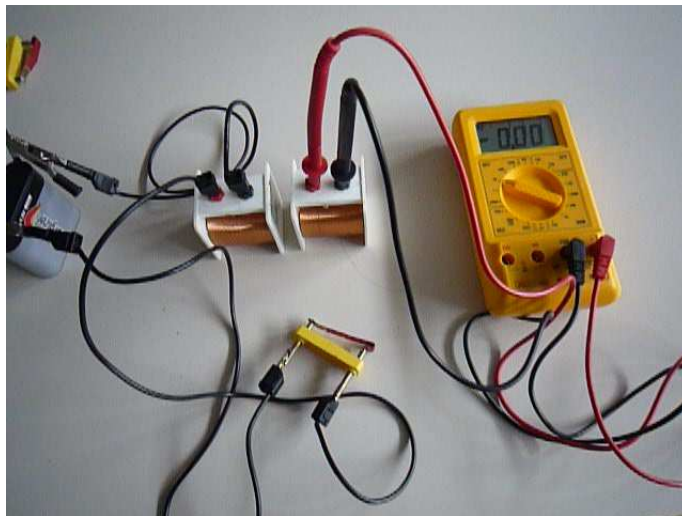
No hay que estar más de 20 segundos con los cables conectados por que la pila se calienta mucho.

2.2.8. EXPERIENCIA 8: inducción electromagnética

OBJETIVO: Observar la corriente que induce un circuito de corriente variable en otro.

MATERIAL:

- 2 bobinas
- Cables de conexión
- Pila
- Multímetro
- Interruptor



INTRODUCCIÓN TEÓRICA:

- INTRODUCCIÓN HISTÓRICA:

Michael Faraday (1791- 1867) Científico británico. En esa época, el científico danés Hans Christian Oersted descubrió los campos magnéticos generados por corrientes eléctricas. Basándose en estos experimentos, Faraday logró desarrollar el primer motor eléctrico conocido. En 1831 colaboró con Charles Wheatstone e investigó sobre fenómenos de inducción electromagnética. Observó que un imán en movimiento a través de una bobina induce en ella una corriente eléctrica, lo cual le permitió describir matemáticamente la ley que rige la producción de electricidad por un imán.

Posteriores aportaciones que resultaron definitivas para el desarrollo de la física, como es el caso de la teoría del campo electromagnético introducida por James Clerk Maxwell, se fundamentaron en la labor pionera que había llevado a cabo Michael Faraday.

Joseph Henry (1797 - 1878) fue un físico estadounidense conocido por su trabajo acerca del electromagnetismo, en electroimanes y relés. Descubrió

la inducción electromagnética aunque luego averiguó que Faraday se le había adelantado.

Henry descubrió, de forma independiente y simultánea a Faraday, que un campo magnético variable induce una fuerza electromotriz. En particular, Henry observó que, si un conductor se mueve perpendicularmente a un campo magnético, aparece una diferencia de potencial entre los extremos del conductor.

El interés del experimento de Henry reside en que la aparición de la fuerza electromotriz inducida puede ser explicada de forma clara por la ley de Lorentz, es decir, por las fuerzas que el campo magnético ejerce sobre las cargas del conductor.

James Clerk Maxwell (1831-1879) Físico británico. En el prefacio de su obra *Treatise on Electricity and Magnetism* (1873) declaró que su principal tarea consistía en justificar matemáticamente conceptos físicos descritos hasta ese momento de forma únicamente cualitativa, como las leyes de la inducción electromagnética y de los campos de fuerza, enunciadas por Michael Faraday.

Con este objeto, Maxwell introdujo el concepto de onda electromagnética, que permite una descripción matemática adecuada de la interacción entre electricidad y magnetismo mediante sus ecuaciones que describen y cuantifican los campos de fuerzas. Su teoría sugirió la posibilidad de generar ondas electromagnéticas en el laboratorio, hecho que corroboró Heinrich Hertz en 1887, ocho años después de la muerte de Maxwell, y que posteriormente supuso el inicio de la era de la comunicación rápida a distancia.

- TEORÍA:

Joseph Henry, observó que un campo magnético variable produce en un circuito próximo una corriente eléctrica. Ley de Faraday-Henry:

La fuerza electromotriz inducida en un circuito es proporcional a la rapidez con la que varía el flujo magnético que lo atraviesa. O en forma matemática:

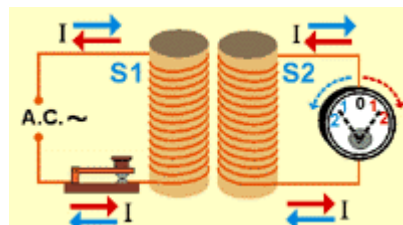
$$E = -\Delta\Phi/\Delta t$$

siendo ε la fuerza electromotriz inducida y $\Delta\Phi$ la variación de flujo magnético que se produce en el intervalo de tiempo Δt . De acuerdo con esta ecuación, la magnitud de f.e.m. inducida coincide con lo que varía el flujo magnético por unidad de tiempo. Por su parte, el signo negativo recoge el hecho, observado experimentalmente por Faraday y Henry, de que aumentos ($\Delta\Phi > 0$) y disminuciones ($\Delta\Phi < 0$) de flujo magnético producen corrientes inducidas de sentidos opuestos.

Si no hay variación con el tiempo del flujo magnético que atraviesa un circuito, el fenómeno de la inducción electromagnética no se presenta. Cuando la ley de Faraday-Henry se aplica a una bobina formada por N espiras iguales toma la forma

$$\varepsilon = -N\Delta\Phi/\Delta t$$

Las corrientes que se inducen en un circuito se producen en un sentido tal que con sus efectos magnéticos tienden a oponerse a la causa que las originó.



MÉTODO OPERATORIO:

Se coloca el dispositivo experimental tal y como se ve en la foto. En el circuito primario están una bobina, la pila y el interruptor unidos con cables, y en la secundaria, otra bobina con el multímetro. Las dos bobinas se colocan al par con las secciones enfrentadas.

Las líneas del campo magnético, pasan por el centro de la bobina, por lo tanto, para que en la segunda bobina se induzca una corriente, el campo magnético de la primera bobina tendrá que pasar por el centro de la segunda bobina, por eso las colocamos enfrentadas.

Cuando el interruptor se aprieta y se suelta, el multímetro detecta corriente inducida de distinto signo en cada caso. La corriente inducida se crea en el sentido que el campo magnético creado (por la corriente inducida) disminuya el flujo magnético creado por el circuito primario, esta es la razón por el que el signo de la corriente eléctrica inducida cambie, cuando abrimos y cerramos el circuito primario.

2.2.9. EXPERIENCIA 9: naturaleza y propagación de la luz

OBJETIVO: Observar la reflexión total de un láser en el agua.

MATERIAL:

- láser
- soporte
- nuez
- pinza
- pajita
- botella grande (5L) de agua
- bolsas de plástico negras o folios de cartulina.

INTRODUCCIÓN TEÓRICA:

- INTRODUCCIÓN HISTÓRICA:

Isaac Newton Científico inglés (1642 - 1727). Sus primeras investigaciones giraron en torno a la óptica: explicando la composición de la luz blanca como mezcla de los colores del arco iris, Isaac Newton formuló una teoría sobre la naturaleza corpuscular de la luz y diseñó en 1668 el primer telescopio de reflector, del tipo de los que se usan actualmente en la mayoría de los observatorios astronómicos; más tarde recogió su visión de esta materia en la obra *Óptica* (1703).

Christiaan Huygens (1629- 1695) Matemático, astrónomo y físico holandés. El mayor logro de Huygens fue el desarrollo de la teoría ondulatoria de la luz, descrita ampliamente en el *Traité de la lumière* (1690), y que permitía explicar los fenómenos de la reflexión y refracción de la luz mejor que la teoría corpuscular de Newton.

Augustin Fresnel (1788- 1827) Físico francés. Miembro de la Academia de Ciencias francesa y de la Royal Society. Consagrado al estudio de la óptica, demostró experimentalmente la naturaleza ondulatoria de la luz y explicó los fenómenos de polarización y de doble refracción. Inventó el biprisma de franjas (*biprisma de Fresnel*), con el que se pueden estudiar los fenómenos de interferencia, y el sistema formado por dos espejos planos en ángulo (*espejos de Fresnel*), con el que se obtienen focos de luz coherente. Ideó un método geométrico (*construcción de Fresnel*) para determinar la amplitud y el ángulo de fase de un movimiento oscilatorio resultante de otros dos de igual frecuencia y fases diferentes, en el que las amplitudes de los movimientos componentes son consideradas como vectores y se obtiene su suma por la regla del paralelogramo. Las llamadas *ecuaciones de Fresnel* permiten relacionar la intensidad de un haz luminoso con la intensidad de los haces reflejado y refractado.

Olaüs Römer (1644-1710) Astrónomo danés. Inventó la lente meridiana y un micrómetro de uso muy común en la observación de los eclipses a finales del siglo XVII. A partir de la observación de los eclipses de los satélites de

Júpiter, consiguió medir la velocidad de la luz (1676), cuyo valor cifró en unos 210.000 km/s aproximadamente.

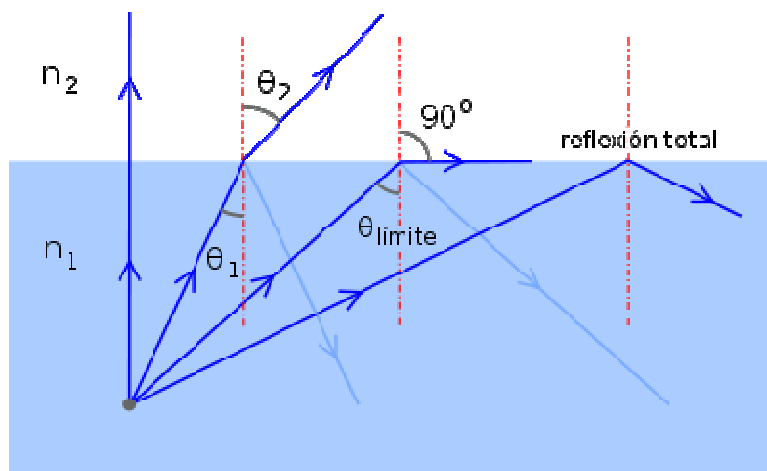
Armand Hippolyte Fizeau (1819- 1896) Físico francés. Obtuvo, junto con Foucault, una fotografía del Sol y determinó la velocidad de la luz. Llevó a cabo numerosas investigaciones en el campo de la óptica y de la electricidad. Enunció el principio según el cual todo movimiento del foco luminoso respecto del observador se traduce en un desplazamiento de las rayas del espectro (*principio de Doppler-Fizeau*). Miembro de la Royal Society y de la Academia de Ciencias francesa.

Thomas Young en una experiencia que lleva su nombre, encontró que si dejaba pasar luz, que provenía de una única fuente, a través de dos pequeñas rendijas muy próximas, la luz daba lugar a unas bandas brillantes que alternaban con otras más oscuras. Basándose en el fenómeno de interferencia que se producía, estableció definitivamente la naturaleza ondulatoria de la luz.

Estudió también entre otras cosas: la naturaleza transversal de las ondas luminosas, las longitudes de onda de los distintos colores, las mareas (encontró una explicación mejor), la energía (la definió formalmente), la elasticidad (una constante en la ecuación matemática que describe la elasticidad lleva su nombre: módulo de Young), el tamaño de las moléculas, la tensión superficial en los líquidos...

- TEORÍA:

Cuando la luz pasa de un medio con índice de refracción n_1 , a otro medio con índice de refracción $n_2 < n_1$, el ángulo de incidencia θ_1 será menor que el de refracción, θ_2 . Por lo tanto, existe cierto ángulo de incidencia para el cual el ángulo refractado se hace igual a 90° , es decir, el rayo refractado se desliza a lo largo de la superficie de separación de los medios sin entrar en el segundo medio.



El ángulo incidente para el cual el ángulo refractado es igual a 90° se denomina *ángulo crítico* (θ_c) o límite. Para todos los ángulos de incidencia $\theta_1 >$

θ_c no se produce rayo refractado: la luz se refleja por completo al primer medio. Este fenómeno recibe el nombre de reflexión total. El valor del ángulo crítico se determina, sustituyendo el ángulo refractado θ_2 por su valor de 90° en la fórmula que expresa la ley de Snell.

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

$$\sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 / n_1$$

$$\sin \theta_c = n_2 \sin 90^\circ / n_1$$

$$\sin \theta_c = n_2 / n_1$$

MÉTODO OPERATORIO:

Para preparar el dispositivo experimental, se hace un agujero pequeño con una broca, del tamaño de la pajita, en la parte inferior de la botella (ver foto). En el agujero se coloca un trozo de la pajita de unos 4 cm.

Por otra parte, el láser se coloca a la altura de la pajita, en el otro extremo de la botella con la ayuda del soporte, nuez y la pinza.



Para poder ver la reflexión total, hay que tapar todas las entradas de luz de la habitación. Para ello, se utilizará, las bolsas de basura o las cartulinas.

Una vez oscurecido el cuarto, se llena la botella con agua. No hace falta llenarlo hasta arriba, basta con 4cm por encima de la pajita.

Se enciende el láser y se coloca de modo que el haz de luz pase por el interior de la pajita.

Se puede apreciar que el láser se refleja totalmente en las paredes del chorro de agua y que toda la luz llega hasta el final del chorro, como lo hacen las fibras ópticas.

Los circuitos de fibra óptica son filamentos de vidrio flexibles, del espesor de un pelo. En el interior, la luz se va reflejando contra las paredes en ángulos muy abiertos, de tal forma que prácticamente avanza por su centro. De este modo, se pueden guiar las señales luminosas sin pérdidas por largas distancias.

2.2.10. EXPERIENCIA 10: óptica geométrica

OBJETIVO: observar el agua como dioptrio plano.

MATERIAL:

- 1 moneda
- Una taza
- Agua



INTRODUCCIÓN TEÓRICA:

- INTRODUCCIÓN HISTÓRICA:

Giambattista della Porta (1535 - 1615) Científico, erudito y dramaturgo italiano. En 1589, describe el efecto de las lentes, afirmando que con lentes cóncavas se ven los objetos más pequeños pero nítidos, y con las lentes convexas se aumenta el tamaño de los objetos, si bien aparecen borrosos: así, pues, combinando lentes cóncavas y convexas, se verán nítidas y mayores tanto las cosas próximas como las lejanas. Esta comprobación permite suponer que con anterioridad a Galileo consiguió Giambattista della Porta construir un anteojos de larga vista, con ocular divergente. Sin embargo, autores como Giambattista de Nelli sostienen, con razón, que Giambattista della Porta conoció las lentes compuestas pero sin llegar nunca a construir ni a imaginar un verdadero catalejo.

En el año 1593 publicó nueve libros que forman su obra *De la refracción óptica*, publicada en Nápoles en 1593. El primer libro trata del fenómeno de la refracción a través de superficies planas y de la refracción atmosférica; el segundo estudia la refracción a través de la "pila cristalina" o esfera de cristal, y también a través de una semiesfera de cristal (considerada en su sección principal); sigue luego un grupo de cinco libros dedicados a la estructura y al funcionamiento del ojo, así como el mecanismo de la visión. Finalmente, el octavo trata de las lentes y el noveno se ocupa del arco iris y de los colores producidos por refracción.

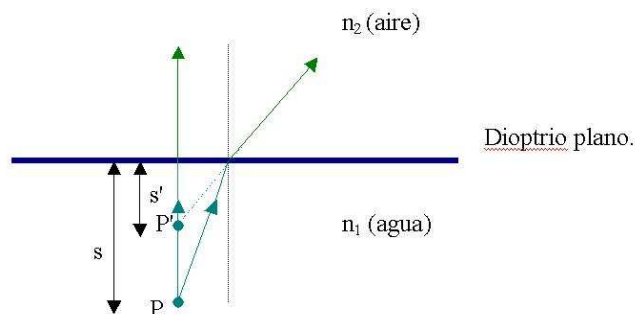
Su aportación a la invención del telescopio quedó hasta cierto punto mejor clarificada cuando se encontró su obra *Del telescopio*; considerada perdida, fue hallada en un manuscrito original inédito de la Academia Nacional de los Lincei. La aparición del antejo, a la que la obra de Giambattista della Porta no dejó de contribuir, aunque involuntariamente; la publicación del *Pralipomena ad Vitellionem* de Johannes Kepler, que en 1604 revolucionó las ideas sobre el mecanismo de la visión; la intervención de Galileo Galilei, que en 1609 conmovió al mundo con los maravillosos descubrimientos astronómicos hechos con el antejo; y, por último, la teoría que sobre este instrumento dio Kepler en 1611 en su *Dióptrica*, constituyen las rápidas etapas de una revolución científica de gran estilo de la que nació la óptica geométrica moderna, en tanto que la óptica clásica.

Johannes Kepler (1571- 1630) Astrónomo, matemático y físico alemán. Durante el tiempo que permaneció en Praga, Kepler realizó una notable labor en el campo de la óptica, como he citado anteriormente: enunció una primera aproximación satisfactoria de la ley de la refracción, distinguió por vez primera claramente entre los problemas físicos de la visión y sus aspectos fisiológicos, y analizó el aspecto geométrico de diversos sistemas ópticos.

- TEORÍA:

El dioptrio plano es una superficie plana que separa dos medios transparentes, homogéneos e isotropos, de distinto índice de refracción, y que refracta la luz que lo atraviesa.

Su ecuación fundamental es: $n's' = ns$

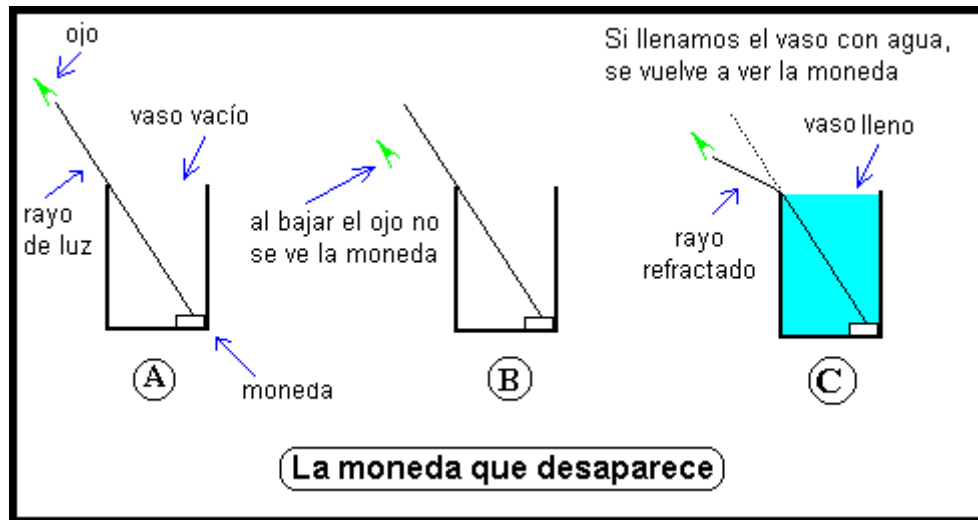


MÉTODO OPERATORIO:

Se mete la moneda en la taza vacía, el vaso no puede ser transparente porque la moneda se podría ver desde un lado.

Los alumnos se colocan justo en el límite de no ver la moneda por encima del vaso.

Se hecha agua a la taza poco a poco y observaremos que el haz de la luz se refracta con un ángulo distinto.



3. CONCLUSIONES

He podido ver, que hay muchas demostraciones que se pueden hacer con material sencillo y que muchos se pueden enseñar en el aula en menos de un minuto. Por lo tanto estas experiencias son factibles dentro del extenso temario de segundo de bachillerato.

4. LÍNEAS FUTURAS

Cuando tenga ocasión de hacerlo, comprobaré si las experiencias fundamentales en clase ayudan a los alumnos a entender mejor la teoría mediante la elaboración de cuestionarios antes y después de las clases correspondientes al tema a estudiar, en un grupo en el que hayan hecho las experiencias y en otro similar que no se hayan hecho. Refinaré las demostraciones propuestas en este trabajo y por último iré ampliando la guía con nuevas ideas.

5. BIBLIOGRAFÍA

- J. CARRASCOSA, S. MARTÍNEZ, M. ALONSO (2006). *Física 2º Bachillerato*. Gráficas E, Corredor. Valencia
- GARCIA MOLINA, RAFAEL (2011). Ciencia recreativa: un recurso didáctico para enseñar deleitando. *Eureka*, (número extraordinario), 370-392
- CHARPAK Georges, LÉNA Pierre, QUÉRÉ Yves. (2006). "Los niños y la Ciencia. La aventura de la mano en la masa. Ciencia que ladra. Argentina. Serie Mayor.
- BELMONTE, MANUEL. (2011). Enseñar a investigar. Libro del alumnado. Bilbao. Mensajero.
- BELMONTE, MANUEL. (2011). Enseñar a investigar. Libro del profesorado. Bilbao. Mensajero
- <http://www.slideshare.net/aidaivars/cono-del-aprendizaje-de-edgar-dale>
- <http://www.monografias.com/trabajos10/dapa/dapa.shtml>
- <http://reuredc.uca.es/index.php/tavira/issue/view/14/showToc>
- <http://www.revistaaleph.com.co/component/k2/item/179-los-ninos-y-la-ciencia-la-aventura-de-la-mano-en-la-masa>
- <http://www.iac.es/cosmoeduca/gravedad/complementos/enlace3.htm>
- <http://www.uia.mx/campus/publicaciones/fisica/pdf/14ONDASmecanicas.pdf>
- <http://www.biografiasyvidas.com/biografia/h/huygens.htm>
- <http://www.biografiasyvidas.com/biografia/t/thomson.htm>
- <http://www.biografiasyvidas.com/biografia/c/coulomb.htm>
- <http://www.biografiasyvidas.com/biografia/c/cavendish.htm>
- <http://www.biografiasyvidas.com/biografia/g/gilbert.htm>
- <http://www.biografiasyvidas.com/biografia/o/oersted.htm>
- <http://www.biografiasyvidas.com/biografia/f/faraday.htm>
- http://es.wikipedia.org/wiki/Joseph_Henry
- <http://www.biografiasyvidas.com/biografia/m/maxwell.htm>
- <http://www.biografiasyvidas.com/biografia/f/fresnel.htm>
- <http://www.biografiasyvidas.com/biografia/r/romer.htm>
- <http://www.biografiasyvidas.com/biografia/f/fizeau.htm>
- <http://www.biografiasyvidas.com/biografia/k/kepler.htm>
- http://www.biografiasyvidas.com/biografia/p/porta_giambattista.htm
- <http://www.monografias.com/trabajos13/fibropt/fibropt.shtml>